

Ingénierie et société en Espagne, XVIII^e et XIX^e siècles : influences et relations avec la France, modèles et transferts

Quatre stades, plusieurs rythmes

Projet 2018-2019

Antoni Roca-Rosell

Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona Tech
Centre Maurice Halbwachs

Référence du projet : PRX18/00138, *Estancias de profesores e investigadores sénior en centros extranjeros, incluido el Programa “Salvador de Madariaga” 2018, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.*

Le défi de la formation des techniciens

La recherche historique récente souligne le rôle joué par les techniciens ou les professionnels techniques (architectes, artisans, ingénieurs, etc.) dans les transformations sociales, depuis au moins la révolution technique du Moyen Âge central et tardif. Cette révolution technique a continué et s'est épanouie à la Renaissance (Pacey, 1974 ; Misa, 2004 ; Caron, 2010 ; Long, 2011). La formation de ces techniciens fut, sans doute, un grand défi.

L'enseignement technique a toujours présenté (et présente encore) un volet pratique, l'apprentissage concret d'un métier ou d'une activité technique. Cependant, on pensa qu'il fallait une formation théorique et ce furent les mathématiques, considérées comme une discipline au contenu large, « pures » et « mixtes », suivant, de fait, la tradition aristotélicienne. Les mathématiques « pures » comprenaient l'arithmétique, la géométrie et l'algèbre, et dès la moitié du XVIII^e siècle, le calcul différentiel et intégral. Les mathématiques « mixtes » couvraient un éventail large de disciplines ou d'activités dans lesquelles les mathématiques pures étaient utilisées : architecture civile et militaire, astronomie, cosmographie, géodésie et cartographie, perspective, horloges solaires, statique, hydraulique, mécanique, optique linéaire, optique physique, instruments optiques, artillerie, musique, physique expérimentale... (Massa *et al.*, 2011). Chaque auteur choisissait les différents sujets en fonction de ses objectifs.

La formation des techniciens a présenté, par conséquent, différentes formes. La voie pratique, immémoriale et indispensable, c'est le contact personnel, de maître à disciple, associé à la pratique concrète du métier ou de l'activité. C'est un système toujours en vigueur, au moins partiellement. La progressive complexité des techniques a ouvert la porte à un système plus formel d'éducation. Melvin Kranzberg (1986) a formulé qu'il y avait deux cultures techniques : la *workshop culture* et la *school culture*. La première est traditionnelle et universelle, elle a été dominante au Royaume Uni jusqu'au dernier quart du XIX^e siècle ; la seconde s'initie sur le continent vers le XVII^e siècle et commence à avoir une présence croissante au XVIII^e siècle.

Dans ce cadre, je voudrais distinguer **quatre stades** de l'enseignement technique. On pourrait les voir comme successifs, mais, en fait, les quatre stades peuvent exister en même temps, avec des fonctions différentes.

1) **Enseignement maître-disciple.** C'est le procédé universel et permanent dès les origines de l'activité technique jusqu'à nos jours. C'est le contact direct avec la technique et la possibilité d'avoir une pratique.

2) **Enseignement en classes privées.** Les cours privés sont le résultat d'une première spécialisation et d'une augmentation de la demande de formation. La pratique et le contact personnel ne sont plus suffisants.

Certains cours furent imprimés (dès le ^{xvii}^e siècle, voire avant), souvent avec le titre de « Cours de Mathématiques », excepté dans le cas des descriptions de techniques particulières comme la métallurgie. Le sens du terme « mathématiques » était très large, suivant l'évolution du *Quadrivium*, avec les mathématiques « pures » et « mixtes », ou « physico-mathématiques ».

3) **Enseignement formalisé en classes « régulières ».** Ce stade est une évolution ou une variation du deuxième stade. Les classes sont généralement soutenues par des institutions publiques. Les enseignements ne conduisent pas à un titre académique ou professionnel.

4) **Enseignement régulier.** Il comporte l'entrée dans un Corps technique ou l'obtention d'un titre académique. Plusieurs centres en Europe proposent cet enseignement, comme l'école fondée en 1600 par Simon Stevin à Leyde.

MON PROJET

Mon projet a pour objet d'analyser les stades 2) et 3), c'est-à-dire, la transition entre les deux cultures dont parlait Melvin Kranzberg, aux ^{xviii}^e et ^{xix}^e siècles en Espagne, dans une perspective comparative avec la France. L'objectif est de valider ou nuancer ce que dit une certaine historiographie sur le « modèle » français. Les événements de la Révolution française de 1789 étaient inscrits dans un mouvement européen de transformation, celui des Lumières, qui représentait aussi la crise de l'Ancien Régime. Ce mouvement fut présent en Espagne, malgré les précautions et les réactions des classes dirigeantes, avec des liens intenses avec la France, dès l'accession en 1700 à la Couronne d'Espagne par un Bourbon.

J'ai choisi un aspect de l'enseignement technique, celui de la formation mathématique, qui y apportait la base théorique, mais aussi la formation pour des métiers spécialisés, comme l'arpentage et la géodésie. Je me suis intéressé aux procès qui ont conduit aux écoles d'ingénieurs et d'architecture.

LES MATHÉMATIQUES EN ESPAGNE AU ^{xviii}^e SIECLE

Il existe une révision très complète et critique préparée par Santiago Garma pour le 3^e volume (^{xviii}^e siècle) de l'histoire des sciences et des techniques dans le royaume de Castille dirigée par Lluís García Ballester. Cette révision de S. Garma de 2002, doit être complétée par des recherches spécifiques qui ont été produites plus récemment¹. J'en ferai un résumé en ce qui concerne mon objectif.

¹ Par exemple, Ausejo et Medrano Sánchez (2010, 2015) ; Navarro Loidi (2006 et 2013). Mon intérêt n'est pas l'évaluation de la « modernité » des contributions, mais leur sens dans un contexte d'enseignement technique.

Collèges

L'enseignement était un privilège de l'aristocratie, en général par des précepteurs privés, mais il y avait aussi des collèges de nobles dans les principales villes du pays. Plusieurs de ces collèges dépendaient de la Compagnie de Jésus. Entre autres, le **Colegio Imperial** de Madrid, fondé à la fin du XVI^e siècle (il a reçu le qualificatif d'« impérial » vers 1603), puis élargi peu après (1625) par les **Reales Estudios de San Isidro**, une initiative pour compenser le fait qu'à Madrid il n'y avait pas d'université et, qu'en outre, les universités continuaient à être loin des sciences. Cependant, les universités de Castille (Salamanca, Alcalá...) protestèrent contre cet élargissement.

En 1752, le roi créa une nouvelle chaire de mathématiques aux *Reales Estudios*. Santiago Garma nous donne la liste des professeurs jésuites de mathématiques : Manuel Jacob Kresa (1647-1715), professeur en 1689 ; José Cassani (1673-1750) ; Bartolomé Alcázar (1648-1721) ; Carlos de la Reguera (1679-1742), professeur entre 1728 et 1734 ; Pedro Fresneda ; Tomás Cerdá (1732-1791), professeur entre 1764 et 1767 ; Esteban Terreros y Panda (1707-1782) professeur entre 1755 et 1767 ; Miguel Benavente, professeur entre 1762 et 1767 ; et Juan Wendlingen (1715-1790), professeur entre 1750 et 1767. Kresa était né en Moravie et Wendlingen, à Prague, ils furent envoyés à Madrid pour garantir le niveau des chaires. Certains de ces professeurs ont imprimé leur cours, mais la plupart existent sous forme de manuscrits (à la *Real Academia de la Historia*, où sont classés les documents des jésuites après leur expulsion en 1767).

Au XVIII^e siècle, les *Reales Estudios* reprirent la *Real Academia de Matemáticas* créée vers 1580 à Madrid par Juan de Herrera, l'architecte royal, académie qui avait eu une trajectoire erratique et avait pratiquement disparu à la fin du XVII^e siècle. Une autre institution, la Real Casa de Pajes fut créée en 1697 pour continuer les activités de la *Real Academia de Matemáticas* de Madrid. En 1760, cette *Real Casa* fut intégrée au *Seminario de Nobles* (voir ci-après). Ses professeurs avaient été José Igaregui et Martín Rosell. Après l'annexion au *Seminario*, Agustín de Pedrayes y Foyo (1744-1815) fut recruté comme professeur. Après sa retraite, en 1790 Tadeo Lope lui succéda.

Mariano Esteban Piñero (2002-2003) explique que Juan de Herrera avait proposé vers 1590 que des écoles de mathématiques fussent établies dans plusieurs villes de la Couronne de Castille (Burgos, Jaén, Valladolid, Salamanca, Madrid, Soria, Segovia, Guadalajara, Toledo et Grenade). Les Cortes approuvèrent le projet, mais les villes devaient en assumer la charge. Finalement, les écoles ne furent pas instituées, avec plusieurs explications et excuses des différentes municipalités.

C'est encore à Madrid que Philippe V créa un **Seminario de Nobles** suivant l'exemple du Collège Louis Le Grand créé par Louis XIV à Paris. Vers 1730, le *Seminario* était bien établi et les professeurs de mathématiques furent Gaspar Alvarez (1704-1759) et Esteban Terreros. Il semble que ce centre admettait des élèves non-nobles.

À la deuxième moitié du siècle, d'autres enseignements se sont ajoutés. Une des initiatives vint d'un autre jésuite, qui était professeur au Collège de Nobles de Barcelone, un collège promu par la famille Cordelles au XVI^e siècle, qui en avait confié les enseignements aux jésuites. Un des professeurs, Tomàs Cerdà, proposa au Roi la création d'une chaire publique de Mathématiques. Il obtint l'accord royal et les classes commencèrent en 1756. Cerdà avait été professeur de Philosophie à l'Université de Cervera, où il avait introduit la physique newtonienne. Il fit un séjour d'études à Marseille avec Esprit Pézenas, et fut ensuite nommé professeur au collège de

Barcelone. En voyant l'intérêt pour les mathématiques, il créa une **Chaire publique de mathématiques**, chose presque insolite dans le pays, où, tout de même, les « externes » commençaient à être admis dans certains centres. La nouvelle chaire disposa d'un édifice adjoint au Collège pour garantir une entrée séparée des élèves, à savoir des artisans, commerçants, etc., en tout cas, non nobles. Vers 1764, Cerdà fut envoyé comme professeur au *Real Seminario de Nobles* de Madrid.

À Barcelone, Cerdà prépara un cours de mathématiques dont il publia les volumes correspondants sur l'arithmétique et l'algèbre, d'une part, et sur la géométrie, d'autre part. Son traité de fortification fut publié à Segovia où en 1764 avait été fondée le *Colegio de Artilleria*. Les autres traités ont été conservés à la *Real Academia de la Historia*. Deux de ces traités ont été publiés récemment : le traité d'astronomie (Cerdà, 1999) et le traité des *fluxions* newtoniennes (Berenguer, 2015). Cerdà justifia que les cours soient imprimés pour éviter la perte de temps des élèves qui devaient copier ce que le professeur dictait. Ce ne fut peut-être pas le premier à le réaliser, peut-être était-ce le militaire Pedro Padilla quelques années auparavant.

Après 1767, le Collège de Cordelles se trouva sans professeurs. Le Roi commanda un rapport pour garantir sa continuité, mais finalement, il fut fermé en 1770. La Chaire de Mathématiques fut cependant sauvée, en étant attribuée à l'Académie des Sciences et Arts de Barcelone et continua ses activités pendant des décennies (Barca Salom, 1993, 1996).

À Madrid, la Couronne créa la *Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, où furent établis des enseignements artistiques (dessin, sculpture), mais aussi, à partir de 1766, les mathématiques. Le premier professeur fut l'ingénieur militaire José Hermosilla y Sandoval (1703-1776), auquel succédèrent Benet Baïls (1730-1797), Antonio de Varas y Portilla, Magin de Vallespinosa, et José Moreno (Garma, 2002).

Le Collège Impérial, les *Reales Estudios* et le *Seminario de Nobles* passèrent, à Madrid, sous la dépendance de la Couronne. Entre 1770 et 1773, le directeur fut le marin-mathématicien Jordi Juan (1713-1773) et les professeurs, après un concours de sélection (Garma, 2002, p. 317), furent : Joaquín de León y Antonio Gregorio Rosell (c. 1748-1829). Le premier, mort en décembre 1777, fut remplacé, après un concours, par Vicente Durán y Sacristan, et Antonio Gregorio Rosell fut remplacé en 1794 par Francisco Verdejo González (1757-1817). Le successeur de Duran en 1797, fut José Ramón Ibarra.

Quelques uns de ces professeurs publièrent des manuels de mathématiques.

Universités

Les universités espagnoles étaient presque complètement absentes des développements scientifiques et techniques. Pour cette raison, des institutions alternatives ou l'initiative privée ont eu une grande importance dans l'activité mathématique du siècle. Une exception est le professeur de l'Université de Salamanca, Juan Justo Garcia (1752-1830). En 1773, celui-ci obtint, à l'issue d'un concours très disputé, la chaire de mathématiques de Salamanca, où il introduisit les mathématiques de son temps. Garcia fit imprimer son cours. Il se situe parmi les réformateurs des universités qui ne réussirent cependant pas à obtenir de nouveaux statuts, malgré le soutien de la Couronne.

En comparaison, le processus français était semblable dans les formes (avec, par exemple, la même absence des universités), mais pas en volume ni, peut-être, en qualité. En effet, il y avait un réseau très important de collèges dans les principales

villes de France. On y enseignait la philosophie, qui comportait des mathématiques élémentaires. Ces collèges étaient gérés par les jésuites (jusqu'à leur expulsion en 1763) et les oratoriens. Certains de ces professeurs organisèrent des cours de mathématiques avancées pour les étudiants qui en avaient besoin, généralement pour continuer des études militaires. Pendant une époque, ces cours furent réellement hors de l'enseignement régulier, mais certaines chaires devinrent officiellement des écoles militaires.

L'armée et la marine espagnoles

Pendant la Guerre de Succession d'Espagne (1700-1715), l'Armée espagnole développa les recours « scientifiques », avec la création, en 1711, du Corps du Génie Militaire. L'Ingénieur en chef, Jorge Próspero de Verboom (1665-1744), avait reçu une éducation en mathématiques à l'Académie Militaire de Bruxelles (fondée en 1675), dirigée par Sebastián Fernández de Medrano (1646-1705). Il avança l'idée qu'un bon officier devait avoir une formation mathématique. Cette Académie disparut en raison des Traités d'Utrecht (1713), selon lesquels l'Espagne devait abandonner les Pays-Bas.

Après la guerre, en 1715, Verboom proposa au Roi de créer des académies de mathématiques dans plusieurs villes espagnoles. Le Roi vit avec intérêt la proposition et il indiqua qu'on pouvait commencer par une académie à Barcelone, tenant compte du fait que Verboom y vivait et dirigeait, en outre, la construction de la grande citadelle de la ville. En 1720, la ***Real Academia Militar de Matemáticas*** commença à fonctionner, sous la direction de Mateo Calabro. Les études étaient organisées en quatre années avec une activité centrale, un cours mathématique, et des activités complémentaires : dessin, cosmographie, géodésie, etc. Le centre admettait chaque année quarante élèves, dont quatre pouvaient ne pas être militaires. Nous n'avons pas beaucoup d'informations sur cette période initiale sous la direction de Calabro. Par ses projets, nous connaissons à peu près le programme de mathématiques. On a conservé les notes du *Traité de géométrie* (deux exemplaires manuscrits) et les notes du *Traité de Fortification* (une copie unique à Salamanca qui a été publiée récemment). Calabro abandonna l'Académie de Barcelone vers 1738 (ou en fut exclu). Peu avant, une lettre de Verboom disait qu'il avait eu de sérieuses confrontations avec Calabro parce que celui-ci ne respectait pas la limite de quarante admis, que certaines années il y avait plus de deux-cents élèves, et que certains d'eux étaient des fils de commerçants. Calabro avait répondu qu'il ne pouvait pas vérifier la *limpieza de sangre* (pureté de sang) de tous ses élèves. On ne connaît aucune publication de Calabro. En 1738, il fut remplacé par Pedro de Lucuce (1692-1779) qui prépara un Cours Militaire de Mathématiques dont on dispose de plusieurs copies manuscrites. Certaines sont complètes – comportant environ 2000 pages – ainsi que certains volumes dans des collections privées, en particulier le traité de *Géométrie pratique*.

Le Cours de Lucuce fut dicté (littéralement) pendant des décennies, peut-être jusqu'à la dissolution de l'Académie en 1803. Bien que son Cours n'ait pas été édité, Lucuce publia un *Traité de fortification*, correspondant selon lui à une simplification de son traité manuscrit. Un des successeurs de Lucuce, Miguel Sanchez Taramas (1733-1799), publia une traduction du traité de fortification de John Muller, mais avec beaucoup de commentaires et additions, ce qui fait de cette traduction un nouveau livre. On connaît aussi une brochure sur les sections coniques signée collectivement au nom de l'Académie. L'Académie de Barcelone fonctionnait avec deux autres centres, à Oran et Ceuta, où les élèves pouvaient suivre les deux premières années. Il faut dire que les copies du Cours des élèves de ces centres sont identiques.

Un élève de l'Académie d'Oran, Pedro Padilla y Arcos (1724-1807?), organisa en 1750 un cours de mathématiques à l'**Académie du Cuartel de Guardias de Corps de Madrid** (Blanco, 2013). Le cours fut publié en quatre volumes, où l'on voit l'incorporation de mathématiques avancées, généralement non traitées dans le Cours de Barcelone. L'expérience de Padilla fut brève (il abandonna le cours en 1760), mais elle marque un certain point de changement dans les cours militaires en Espagne. En fait, Padilla justifia l'impression de son cours pour éviter la perte de temps des élèves.

Les activités d'enseignement des mathématiques devaient être répandues dans les centres militaires du pays. Un témoignage serait le livre *Nociones Militares*, publié à Barcelone en 1781 par un officier, Joseph Ignacio de March, et destiné à un régiment de Sagunto (Valencia), où il donnait une version simplifiée du Cours de Lucce.

Un autre centre d'enseignement de mathématiques fut l'**Academia de Guardias Marinas** de Cadix établie en 1717 (et transférée à San Fernando en 1769). Cette Académie était une composante de la *Compañía de Guardias Marinas*, une unité militaire dont l'objectif était de former des officiers de Marine. Les études théoriques, à terre, duraient deux semestres. Le gros de la formation se déroulait à bord des navires-écoles. Francisco Antonio de Orbe (?-1723) en fut le premier professeur de mathématiques, auquel succéda Pedro M. Cedillo (1676-1761), futur directeur de l'Académie. Cedillo publia un livre de navigation pour ses élèves. Il semble qu'on suivait les *Éléments d'Euclide* du père Kresa et divers tomes du *Compendio* de Tosca. Après Cadix, des académies de *Guardias Marinas* furent créées à Carthagène et à El Ferrol.

Malgré les limitations académiques du centre, au moins deux de ces élèves méritent d'être distingués parmi les savants et mathématiciens les plus renommés de l'Espagne du XVIII^e siècle : Jordi (Jorge) Juan et Antonio de Ulloa (1716-1795). Très jeunes, le Roi les envoya avec l'expédition de l'Académie des Sciences de Paris en Équateur pour la mesure de l'arc du méridien (1735-1746). Après cette expérience, ils furent nommés membres correspondants de l'Académie et aussi de la *Royal Society* de Londres. Jordi Juan fut à l'origine de la création d'un Observatoire de la Marine à Cadix (1753), étant donné qu'il avait été nommé directeur de l'Académie en 1751. Les œuvres de Juan et Ulloa sont centrées sur la navigation, mais leur intérêt en astronomie et en mécanique (dessin de bateaux) fait qu'ils furent des diffuseurs de la physique newtonienne.

En 1764, le **Colegio de Artilleria** de Segovia fut créé, instituant la séparation définitive des artilleurs et des ingénieurs militaires. Il y eut un enseignement de mathématiques, par Cipriano de Vimercati (1730?-1803), premier professeur (son cours ne fut pas imprimé), et l'italien Pietro Giannini (1740?-1810), auteur d'un cours en quatre volumes (Navarro Loidi, 2013). Ils assurèrent un haut niveau de mathématiques, en introduisant, par exemple, le calcul différentiel.

Les cours mathématiques publiés en Espagne

J'ai mentionné en passant les cours publiés par ces professeurs de centres espagnols. Voici une liste *chronologique* des principaux titres :

Kresa, Jacobo, *Elementos geométricos de Euclides, los seis primeros libros de los planos, los onzeno y dozeno de los solidos: con algunos selectos Theoremas de Archimedes*, Bruselas, 1689.

Fernández de Medrano, Sebastián, *El Ingeniero Práctico*, Bruxelles, 1696.

Fernández de Medrano, Sebastián, *El Arquitecto Perfecto en el Arte Militar*, Bruxelles, Lamberto Marchant, 1700.

- Tosca, Tomàs Vicent, *Compendio Mathematico*, Valencia, 1707-1715, 9 volumes (rééd. : Madrid, 1727 ; Valencia, 1757 et 1760 ; également une réimpression des traités d'architecture civile, navigation, taille des pierres et horloges solaires, Valencia, 1794).
- Cedillo, Pedro M., *Compendio del arte de navegación*, Sevilla, Lucas Martín de Hermosilla, Impresor, y Mercader de Libros en Calle de Génova, 1717.
- Cedillo, Pedro M., *Tratado de Cosmografía y Náutica*, Cádiz, Imprenta Real de Marina y Casa de la Contratación D. Miguel Gómez de Guiránm, 1743.
- Padilla, Pedro, *Curso Militar de Matemáticas, sobre las partes de esta Ciencia, para el uso de la Real Academia establecida en el Cuartel de Guardias de Corps*, Madrid, Antonio Marín, 1753-1763, 4 volumes.
- Wendlingen, Juan, *Elementos de la mathematica: escritos para la utilidad de los principiantes*, Madrid, Joachim Ibarra, 1753, 1755 et 1756, 4 volumes.
- Juan, Jorge, *Compendio de Navegación para el uso de los caballeros Guardias Marinas*, Cádiz, 1757.
- Juan, Jorge, *Examen Marítimo Theórico Práctico, ó Tratado de Mechanica aplicado á la Construcción, Conocimiento y Manejo de los Navíos y demás Embarcaciones*, Madrid, 1771, 2 volumes. Le vol. 1 fut réédité en 1793 avec des notes de Gabriel Ciscar. Récemment, plusieurs éditions en fac-similé.
- Cerdà, Tomàs, *Liciones de Mathematica, o elementos generales de Arithmética y Álgebra*, Barcelona, Francisco Surià, 1758, 2 volumes.
- Cerdà, Tomàs, *Lecciones de mathematica, o Elementos generales de geometria para el uso de la clase*, Barcelona, Francisco Surià, 1760. Réimpression à Barcelone, Agustin Roca, 1816.
- Cerdà, Tomàs, *Leccion de artilleria : para el uso de la classe*, Barcelona, por Francisco Surià ..., 1764.
- Lucuce, Pedro de, *Principios de Fortificación que contienen las definiciones de los términos principales de las obras de Plaza y de Campaña: dispuestos para la Instrucción de la Juventud*, Barcelona, Thomas Piferrer, 1772.
- Capmany, Jerónimo, Bails, Benito, *Tratados de mathematica, que para las escuelas establecidas en los regimientos de infantería, por particular encargo de su Inspector General el Excmo. Sr. Conde de O'Reilly ...*, Madrid, D. Joachin Ibarra, 1772.
- Baïls, Benito, *Principios de matemática: donde se enseña la especulativa, con su aplicación a la dinámica, hydrodinámica, óptica, astronomía, geografia, gnomónica, arquitectura, perspectiva, y al calendario*, Madrid, Ibarra, 1776, 3 volumes.
- Giannini, Pedro, *Curso matemático para la enseñanza de los caballeros cadetes del Real Colegio Militar de Artillería*, Madrid, Segovia et Valladolid, plusieurs éditeurs, 4 volumes, 1779, 1782, 1795, 1803.
- Baïls, Benito, *Elementos de matemática*, Madrid, Ibarra, 1779-1790, 10 volumes.
- De March, Joseph Ignacio, *Nociones militares, o Suplemento a los Principios de Fortificación del Excmo señor don Pedro de Lucuze, escrito para la instrucción de los Caballeros Cadetes del Regimiento de Dragones de Sagunto*, Barcelona, Bernardo Pla, 1781.
- García, Juan Justo, *Elementos de Aritmética, Algebra y Geometría [...]*, Madrid, Joachin Ibarra, 1782. (5 éditions).

Lope y Aguilar, Tadeo, *Curso de Matemáticas para la enseñanza de los caballeros seminaristas del Real Seminario de Nobles de Madrid*, Madrid, Imprenta Real, 1794-1798. 3 volumes (le troisième en deux parties, dont la deuxième rassemble des tables).

Verdejo, Francisco, *Compendio de Matemáticas puras y mixtas para instrucción de la juventud*, Madrid, Impr. de la Viuda de Ibarra, 1794-1802, 2 volumes.

[Sánchez Taramas, Miguel] *Tratado de Fortificación ó Arte de Construir los Edificios Militares y Civiles*. Escrito en Inglés por Juan Muller. Traducido [...] y aumentado con notas, adiciones y 22 láminas [...] Por D. Miguel Sánchez Taramas, Capitán de Infantería, e Ingeniero Ordinario de los Ejércitos de S.M., actualmente empleado en la enseñanza de la Real Academia Militar de Matemáticas establecida en Barcelona, Barcelona, Thomás Piferrer, Impresor del Rey, 1796.

Dans ces ouvrages, les cours couvrant à la fois les mathématiques pures et mixtes furent celui de Tosca, au début du siècle, et celui de Baïls, vers la fin. Les autres auteurs publièrent des textes qui se voulaient, je pense, complémentaires. On peut voir cette complémentarité dans certaines chaires, dont les programmes utilisaient les nouveaux livres et ceux de Tosca et Baïls.

Il faut distinguer entre les professeurs de collèges « généraux » et les enseignements militaires, dans ce cas plus spécialisés (en navigation, artillerie ou fortification). Il existait, cependant, la *Real Academia de Bellas Artes* de San Fernando qui devint un centre technique de formation d'architectes, au moins temporairement, par l'action de Baïls.

Chez presque tous les auteurs, en France et en Espagne, nous trouvons l'idée qu'un ingénieur (militaire), un officier ou un architecte doivent disposer d'une formation mathématique.

Tosca, dans son *Compendio* (9 volumes, 1707-1715), traite « tous » les sujets des mathématiques pures et mixtes (Navarro Brotons, 1985). Il parle plutôt de physico-mathématiques. Le *Compendio* de Tosca connut un grand succès car, comme le dit Victor Navarro, cet ouvrage représentait un renouveau après la crise profonde des sciences en Espagne pendant le XVII^e siècle. Bien que Tosca mentionne les principaux auteurs espagnols (Navarro cite : Sebastián Izquierdo, Juan Caramuel y Lobkowitz, Vicente Mut, José de Zaragoza et Hugo de Omerique), ses références sont des auteurs français, principalement le jésuite Claude François Milliet Dechaies (1621-1678), qui avait rédigé son cours pour ses classes à Clermont, Lyon, Chambéry et Marseille.

En France, il semble y avoir eu une tendance à une spécialisation. Bêlidor a publié deux éditions (1725, 1752) de son *Nouveau cours de mathématique*, avec « uniquement » des sections d'artillerie, mécanique et hydraulique. En fait, à la première édition (1725) il annonça un traité de fortification, qu'il intitula *La science des ingénieurs* (1729). De plus, Bêlidor publia une *Architecture hydraulique* (1737-1739), devenue, elle aussi, un ouvrage de référence. Cela veut dire que Bêlidor publia, non un cours d'usage, mais plutôt des livres spécialisés.

En France, après le cours de Milliet Dechaies, les cours généraux renferment de plus en plus de mathématiques pures et moins de mathématiques « mixtes ». Peut-être pour cette raison, en compensation, il y a eu, en 1747, une traduction française du cours de Christian Wolff. Ce cours, en quatre volumes, présente les mathématiques pures en deux volumes, et les mixtes, dans les deux autres. Il y eut, au moins, une réédition en 1752.

Dans la liste de publications mathématiques espagnoles on voit aussi cette tendance à la spécialisation, mais malgré tout, Baïls composa un ouvrage de mathématiques pures et mixtes. Baïls avait reçu une formation en France et il déclare dans les prologues qu'il suivra, fondamentalement, le Cours de Bézout. Toutefois, le texte de Baïls a un contenu plus large que celui de Bézout². Dans ses deux versions – pour la Marine et pour les artilleurs – Bézout développe l'arithmétique, la géométrie, la trigonométrie, l'algèbre et le calcul différentiel et intégral dans trois des quatre volumes. Le dernier est dédié à la navigation ou à la mécanique. Dans le cas de Baïls, dans ses *Principios*, les trois premiers volumes sont dédiés aux mathématiques pures, les trois suivants, du quatrième au sixième, sont consacrés à la dynamique, l'hydrodynamique et l'optique, les volumes septième et huitième constituent un traité d'astronomie, et les volumes neuf et dix exposent l'architecture civile et l'hydraulique et une table complète de logarithmes.

Quels étaient les lecteurs/utilisateurs potentiels de ces textes ? D'un côté, comme on l'a dit, c'étaient les militaires : à Barcelone, l'Académie militaire de mathématiques leur offrait une possibilité de formation sérieuse. De l'autre côté, on trouvait les artisans, les constructeurs, les chefs d'atelier, les commerçants, les fabricants ou entrepreneurs..., les personnes qui devaient compléter leurs connaissances pour progresser dans leurs métiers, étant donné le caractère de classe des collèges (au moins à Barcelone) et le manque d'implication des universités pour les sciences (voire la suppression de l'université au XVIII^e siècle dans le cas de Barcelone).

Enseignement privé : le Cours mathématique de Pasqual Calbó

Les cours privés, malgré leur possible grande extension, sont plus difficiles à évaluer, sauf s'il y a eu, par exemple, une publication. En France, certains textes publiés par Jacques Ozanam avaient comme origine des cours privés.

En Espagne, nous avons un exemple extraordinaire, qu'on peut considérer unique sous certains aspects. Le peintre minorquin Pasqual Calbó (1752-1817) laissa comme héritage un manuscrit d'environ 500 folios qui consiste en un cours mathématique (Roca Rosell, 2016, 2017). Le manuscrit est écrit en catalan, la langue courante de cette île des Baléares, qui a été dès 1713 sous contrôle britannique, avec une décennie sous contrôle français, et pendant quelques années, espagnol, jusqu'à son retour définitif au royaume d'Espagne en 1802.

Jusqu'à récemment, les auteurs avaient des difficultés pour intégrer un texte scientifique dans la trajectoire d'un artiste (de haute qualité). En analysant le manuscrit, on voit que Calbó donnait des cours privés et le texte est l'ensemble de ces notes, peut-être préparées pour une édition. Des presque 1000 pages écrites, un tiers correspond aux mathématiques pures, un tiers à la physique expérimentale, et le dernier tiers à la perspective, l'architecture civile et militaire, la construction d'horloges solaires et la construction de vaisseaux. Comme on peut le supposer, les dessins sont magnifiques.

Dans les premières études sur son œuvre, on voit que Calbó a utilisé les grands ouvrages espagnols : Tosca et Baïls. Cependant, pour la physique expérimentale, il choisit le cours de Giuseppe Saverio Poli, médecin et physicien napolitain. Nous n'avons pas identifié les sources du traité de perspective (où, selon lui-même, il inscrit ses contributions les plus personnelles) ou du traité de construction navale.

² Mais pas l'unique référence. Baïls nous donne les noms des auteurs et les ouvrages consultés dans son texte. Il mentionne les principaux mathématiciens de son temps.

Comment expliquer l'existence d'un tel cours dans une île de la Méditerranée, sans enseignement supérieur, apparemment sans contact avec le monde. Si l'on connaît Minorque, il est clair que c'est une île connue mondialement, grâce au port de Maó – un port naturel extraordinaire –, grâce au talent de ses habitants, souvent obligés d'émigrer, mais une émigration qui donna, par exemple, le premier amiral de la Marine des États-Unis (David Farragut, fils d'un capitaine minorquin qui rejoignit la révolution américaine).

La formation de Pasqual Calbó comme artiste se développa en Italie (quatre ans à Venise, quatre ans à Rome), sous la protection de l'Empire autrichien. Calbó fut engagé comme dessinateur de la nouvelle galerie du Belvédère, mais, au bout de quelque mois, il décida de retourner à Minorque.

Quel est le sens du cours préparé par Calbó ? Il trouva, sans doute, des jeunes Minorquins (il dit « jeunes manufacturiers », *menestrals*) qui voulaient développer leur métier sur des bases mathématiques. Ils pouvaient être des artisans travaillant dans le port de Maó, des constructeurs, des militaires, des jeunes qui se préparaient pour des études en Espagne ou en Europe... Nous savons qu'après 1802, avec l'incorporation à l'Espagne, la *Real Academia de Bellas Artes* de San Fernando a mis en question la capacité des constructeurs minorquins parce qu'ils n'avaient pas de validation de leur métier. Des examens furent alors organisés à Palma de Majorque pour cette validation. Avec le Cours de Calbó, on pouvait très bien préparer ces examens.

Le manuscrit de Calbó est en train d'être publié par l'*Institut Menorqui d'Estudis* et l'*Institut d'Estudis Catalans* avec des études préliminaires, ce qui offrira un exemple inédit des enseignements techniques privés et constituera, sans doute, un élément très singulier du patrimoine culturel de Minorque (et de la culture scientifique et technique catalane).

Les débats

Au XVIII^e siècle, les mathématiques étaient une base de la culture technique, mais il y avait un débat très important sur leur rôle dans l'enseignement technique et sur ce que devait être le contexte institutionnel et social de cet enseignement.

En France, le mouvement des Lumières et le procès révolutionnaire apportèrent beaucoup d'éléments à ce débat. Les encyclopédistes, par exemple, ne croyaient pas que les universités puissent jouer un rôle dans l'enseignement technique. L'*Encyclopédie*, comme les *Descriptions des Arts et Métiers* publiées par l'Académie des Sciences, croyaient plus à la diffusion personnelle ou en groupe, à l'étude des textes, plus qu'à des écoles, collèges ou universités. Au moment de la Révolution, ce refus des institutions traditionnelles d'enseignement conduisit à la création d'institutions d'un nouveau type, comme l'École polytechnique ou l'École normale.

En Espagne, les discussions furent animées par le débat en France, mais dans un contexte particulier. Elles prirent place dans des associations qui reflétaient la diffusion – plus ou moins importante – du mouvement éclairé.

En 1764, une nouvelle association fut créée au Pays Basque, la *Real Sociedad Vascongada de Amigos del Pais*. C'était une initiative de nobles éclairés, avec Xavier M^a de Munibe, comte de Peñaflores, à leur tête. Le modèle fut imité dans la plupart de régions espagnoles avec l'appui explicite de la Couronne.

La *Sociedad* basque créa un collège et aussi un laboratoire chimique, dont le plan fut réalisé par le jeune chimiste français Joseph Louis Proust. Il y a quelques années, on a pu documenter que le Laboratoire était une initiative secrète du ministère de la Marine,

qui était intéressé par la métallurgie des canons. Cependant, ce laboratoire donna de la *Sociedad* une image de l'intérêt qu'elle portait pour la science. Dans cette même perspective, les *sociedades de amigos del pais* organisèrent des chaires dans plusieurs villes d'Espagne.

En Catalogne, les commerçants et les fabricants fondèrent la *Junta de Comercio* de Catalogne, approuvée en 1758, mais qui ne fut autorisée à fonctionner qu'en 1764. Cette *Junta* avait comme financement une taxe d'origine médiévale, le droit de *periatge*, prélevée sur les marchandises entrées au port de Barcelone³.

La *Junta* décida d'investir une part significative de ses ressources dans la promotion de l'enseignement professionnel, un enseignement gratuit, ouvert aux commerçants et artisans (Barca *et al.*, 2009). La première école fut l'École de Navigation qui commença en 1770. En 1775 ouvrit l'École de Dessin, dite en 1800 de Nobles Arts (où l'on organisa des enseignements d'architecture en 1815). Dans les décennies suivantes, de nouvelles chaires furent établies. Dans le champ scientifique et technique, les principales chaires furent : Chimie (1805), Mécanique (1808), Physique Expérimentale (1814), Botanique et Agriculture (1814), Mathématiques (1819). La plupart de ces enseignements s'intégrèrent à l'École Industrielle créée en 1851.

L'action de la *Junta* s'inscrivait dans le contexte d'une alliance entre la bourgeoisie productive (propriétaires agricoles, commerçants et manufacturiers) et le monde de l'artisanat et des ateliers, une alliance qui fut à la base de l'industrialisation de la Catalogne. En ce sens, on peut comprendre l'intérêt de la *Junta* pour l'enseignement professionnel et pour la diffusion des nouveautés manufacturières.

Cette alliance était une exception en Espagne. Le gouvernement éclairé, dans sa politique de promotion de l'industrie, considérait que les corporations d'artisans ou guildes devaient disparaître, car elles constituaient un obstacle à la modernisation de la société.

Pedro Rodríguez Campomanes (1723-1802), un homme fort de la Couronne⁴, estimait, de plus, que la transmission du savoir dans les corporations était très déficiente quand elle existait :

« *Esta educación técnica, y moral suele ser defectuosa, y descuidada entre nuestros artesanos: persuadiéndose no pocos, de que un menestral no necesita educación popular.*⁵ » (Rodríguez Campomanes, 1775, vol. I, 3).

Campomanes proposait d'établir des enseignements mathématiques (simples) dans tout le pays :

« *Sin el socorro de las matemáticas, jamás podrán adquirir las artes prácticas el grado de perfección necesaria. Por esta razón en el discurso anterior sobre la industria popular, se propusieron en cada capital dos cátedras. Una de aritmética, geometría, y álgebra, en que se enseñasen los principios, que necesite saber cada artista ; y otra de maquinaria ; en que se apliquen // estos mismos principios al progreso de las artes ; á*

³ La *Junta* était la réédition de l'ancien *Consolat de Mar*, supprimé par le décret de *Nueva Planta* de Philippe V de Bourbon, par lequel en 1716 les institutions catalanes furent substituées par les institutions de Castille. Il y eut des décrets similaires en 1707 pour supprimer les institutions aragonaises et valencienues, et en 1715 pour les majorquines.

⁴ Après être engagé dans l'administration de l'État, il fut membre de Conseil de Castille entre 1762 et 1783, avec une responsabilité équivalente à Premier ministre.

⁵ « Cette éducation technique et morale a tendance à être défailante et négligée chez nos artisans : plusieurs sont persuadés qu'un mécanicien n'a pas besoin d'éducation populaire. »

*perfeccionar los instrumentos que necesita cada una, y á facilitar con ellos sus respectivas operaciones.*⁶ » (Rodríguez Campomanes, 1775, vol. I, p. 78-79).

L'orientation du gouvernement fut souvent réalisée par les *sociedades de amigos del país*, mais avec des résultats très limités.

Pour défendre ses positions, la *Junta* de Catalogne commanda à l'historien catalan installé à Madrid, Antoni de Capmany, une histoire des corporations en Catalogne dès le Moyen Âge. Le résultat fut un livre exceptionnel, publié en 1779, qui est considéré comme la première étude d'histoire économique en Espagne. Le même auteur avait publié en 1778, sous le pseudonyme de Ramón Miguel Palacio, un petit livre dont le titre est bien clair : *Discurso Económico-Político en defensa del trabajo mecánico de los menestrales, y de la influencia de sus gremios en las costumbres populares, conservación de las artes, y honor de los artesanos*⁷.

La politique économique et technique de la *Junta* réussit, et le gouvernement espagnol, malgré de nombreux essais, ne fut pas capable d'établir des enseignements « populaires » suffisamment consolidés. Ce n'est qu'en 1824 que le *Conservatorio de Artes* de Madrid fut créé, offrant des enseignements techniques au monde du travail de la capitale. Le *Conservatorio* avait pris comme modèle l'initiative de 1819 du Conservatoire national des arts et métiers parisien d'établir des enseignements techniques.

À Madrid, après 1770, avec les collèges pris en mains par la Couronne, il y eut une polémique sur le niveau des mathématiques. Verdejo, par exemple, souligne que son cours doit être utile aux artisans :

*« De suerte, que qualquiera que se halle dotado de un regular talento y aplicación, podrá por sí solo tomarlos conocimientos necesarios, tanto para ser buen Comerciante, Geómetra ó Artesano, como para ser buen Matemático, aplicándose después al estudio de otras Obras mas sublimes. »*⁸ (Verdejo, 1794, vol. I).

C'est peut-être un signe du changement, pour établir au moins deux voies d'enseignement, l'une destinée aux applications, l'autre pour les « mathématiciens ».

En France, la publication à partir de 1761 des *Descriptions des Arts et Métiers* de l'Académie des Sciences et de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert représentent, sans doute, un moyen extraordinaire de diffusion, soit de support à des activités d'enseignement, soit la version personnelle (1) ou privée (2). Comme le disent Daumas et Tresse (1954) : « On se demande quelle avait pu être la clientèle de la *Description* ; probablement la même que celle de l'*Encyclopédie*. Dès le début du XIX^e siècle la clientèle qui attendait de tels manuels était composée d'ouvriers, de chefs d'ateliers ou d'entreprises ».

Au volume correspondant à la publication des premiers volumes de la *Description*, l'*Histoire de l'Académie Royale des Sciences* explique l'utilité du nouvel ouvrage :

⁶ « Sans l'aide des mathématiques, les arts pratiques ne pourront jamais atteindre le degré de perfection nécessaire. Pour cette raison, dans le précédent discours sur l'industrie populaire, deux chaires étaient proposées dans chaque capitale. L'une, d'arithmétique, de géométrie et d'algèbre, dans laquelle y furent enseignés les principes que chaque artiste doit connaître. Et une autre de mécanique ; où // ces mêmes principes s'appliquent au progrès des arts ; perfectionner les instruments dont chacune a besoin et faciliter avec eux leurs opérations respectives. »

⁷ *Discours économique-politique pour la défense du travail mécanique des artisans et influence de leurs corporations sur les coutumes populaires, la conservation des arts et l'honneur des artisans.*

⁸ « Par conséquent, quiconque qui soit doué d'un talent et d'une application réguliers, pourra à lui seul acquérir les connaissances nécessaires, à la fois pour être un bon commerçant, un bon spécialiste de la géométrie ou un artisan, et pour être un bon mathématicien, en se consacrant plus tard à l'étude d'autres œuvres plus sublimes. »

« Ce n'est qu'en rapprochant, pour ainsi dire, les Arts les uns des autres, qu'on peut y parvenir ; on les mettra, par ce moyen, à portée de s'éclairer mutuellement, & peut-être de produire un grand nombre de nouveautés utiles ; ce n'est que par-là qu'on peut en bien connoître les véritables principes, comparer les pratiques usitées dans le royaume avec celles des autres pays, leur donner le moyen de recevoir du secours de la théorie ; ce n'est pas même en ce cas un médiocre avantage que de mettre ceux qui s'appliquent aux Sciences, & qui n'ont pas le loisir ou la commodité d'aller étudier les Arts chez les Artistes, à portée de connoître de quel côté ils doivent tourner leurs vues & diriger leurs travaux, pour les rendre plus promptement & plus directement utiles à la société ; enfin la description des Arts est le moyen le plus efficace d'apprendre à une grande quantité de propriétaires, qu'ils ont en leur possession des trésors qui leur sont inconnus, & qu'ils peuvent mettre en valeur par l'établissement de diverses Manufactures dont elles n'avoient aucune connoissance, & dont la lecture de cet ouvrage leur pourra donner l'idée. Plusieurs personnes placées dans des endroits où l'on manque souvent d'ouvriers même médiocres, y trouveront le moyen, ou d'exercer elles mêmes les Arts qui leur seront nécessaires, ou de les faire exercer par des gens qui ne les avoient jamais pratiqués. Ceux qui se sont trouvés dans le cas dont nous parlons avec quelque connoissance des Arts, savent de quelle ressource peuvent être ces connoissances, tant pour se procurer une infinité d'agréments que pour dompter, pour ainsi dire, par une occupation utile & agréable, l'ennui d'une solitude que les temps & les circonstances rendent souvent forcée.⁹ »

L'enseignement n'est pas mentionné, mais le besoin de transmission « scientifique » des connaissances pratiques est clair.

Quant à l'Université, les Bourbons ont supprimé toutes les universités en Catalogne (Lleida – la plus ancienne, 1300 –, Barcelone, Gérone, Tarragona, Vic et Solsona) pour en créer une nouvelle à Cervera, une ville à 100 km de Barcelone et 50 km de Lleida. La Couronne a investi assez d'argent pour la nouvelle université, mais malgré tout elle n'a pas réussi à consolider de véritables enseignements. Cette université a fermé en 1842.

À Barcelone, la municipalité a manifesté l'inquiétude de ne pas avoir d'université dans la ville. Les *representaciones* de la municipalité des Bourbons dans lesquelles ils demandaient le rétablissement de l'Université ont été envoyées en 1749, 1767, 1776 et 1777. À la *representación* de 1776 ils disaient :

« Parece no será violenta digresión la que en consecuencia se dirija a tratar formalmente de un restablecimiento de estudios generales o de la planificación de una Universidad Literaria tan necesaria en esta ciudad, como utilísima al resto de la Provincia con otras ventajas a favor de la Industria Popular, que no las que consigue ni permite su actual mansión en la de Cervera.¹⁰ »

Les membres de l'*Ayuntamiento*¹¹ de Barcelone considéraient que l'université serait utile à l'Industrie Populaire, c'est-à-dire au monde pratique, l'artisanat, l'industrie, le commerce ! Rien de plus éloigné des universités de l'époque, avec quelques exceptions... On devrait se demander quel était le modèle d'université de ces membres

⁹ « Mécanique », *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, année MDCCLXI*, 1763, p. 148-149.

¹⁰ « Apparemment, il ne s'agira pas d'une digression violente celle qui viserait par conséquent à traiter formellement d'une restauration des études générales ou de la planification d'une université littéraire si nécessaire dans cette ville, très utile au reste de la province avec d'autres avantages en faveur de l'industrie populaire, que n'obtient pas ou ne permet pas sa maison actuelle à Cervera. »

¹¹ Le nom historique de la municipalité de Barcelone est le « Consell de Cent », le Conseil des cent, pour le nombre de membres représentants des nobles, de l'Église, de l'Armée et des corporations professionnelles et artisanales. Les Bourbons ont imposé les lois de Castille et la municipalité est devenue *ayuntamiento*, c'est-à-dire, rassemblement. Il était constitué exclusivement par les nobles les plus influents nommés par le Roi.

de l'aristocratie barcelonaise... Peut-être l'Université de Valencia, une université municipale créée en 1499 qui avait pu continuer après l'intervention des Bourbons ?

Pour conclure. Éléments de comparaison

Au XVIII^e siècle, il y avait en France un système remarquable d'enseignement distribué sur le territoire¹², avec des collèges (gérés par les ordres religieux), des universités (avec également une présence importante de l'Église) et des sociétés et académies dans les principales villes (Roche, 1989). De plus, l'Armée (de terre et la Marine) a créé ses propres centres d'enseignement. En fait, certains collèges, dans lesquels ont souvent été organisés des cours de mathématiques complémentaires, devinrent en 1776 des écoles royales militaires¹³. Ces collèges, universités et sociétés étaient certainement dans les mains des hautes couches de la société, les nobles presque exclusivement, et aussi la bourgeoisie. Cependant, ces enseignements et activités académiques avaient une projection plus large, soit par les publications, soit par des activités publiques (conférences, démonstrations, cours...). Ils avaient un caractère mixte entre cours privés adjoints à des institutions et cours réguliers pour entrer dans un corps technique de l'armée.

Cette richesse d'enseignements et d'activités n'existait pas en Espagne. On a vu que des sociétés locales et nationales ont existé, mais elles ont souvent eu de grands problèmes de continuité. On dispose difficilement d'informations sur les cours privés. J'ai montré que la *Junta de Comercio* et l'Académie des Sciences et Arts de Barcelone ont organisé des enseignements scientifiques et techniques, sans avoir une régulation académique établie.

Un élément à prendre en compte, c'est la faillite en Espagne de la création d'une académie nationale des sciences. Elle était en cours de création, mais un changement de gouvernement en 1792 a conduit à l'abandon de son établissement¹⁴. Dans le monde des sciences et des techniques, pendant le XVIII^e siècle il y a eu des académies locales, comme celle de Barcelone, mais aucune institution de l'État avec un rôle semblable à celui de l'Académie des Sciences de Paris, instituée et financée par la Couronne, ou de la *Royal Society* de Londres, une entité privée, financée par ses associés.

En France et en Espagne, l'enseignement des mathématiques était toujours justifié comme un enseignement utile, puisque considérées comme indispensables pour l'art de la guerre, l'architecture, l'ingénierie, l'astronomie, la cartographie, etc.

Pendant le XVIII^e siècle, les premiers centres d'enseignement d'ingénieurs s'organisèrent en France et en Espagne. En France, notamment, l'École des Ponts et Chaussées, l'École du génie de Mézières et l'École des mines. Dans le premier cas, selon Serbos (1964), les élèves du Bureau des dessinateurs (établi en 1747, qui évoluera en École des Ponts) prenaient certaines classes (architecture, par exemple) en dehors du centre, à leurs frais. C'est une situation entre mes stades 3) et 4). Cette situation changera quand l'École devient École Polytechnique (Langins, 1991). L'École de Mézières sera, peut-être, le lieu où sera établi un système complet d'enseignement.

En Espagne, les académies de Cadix et Barcelone sont des essais intermédiaires entre l'apprentissage privé et les nouvelles écoles. L'Académie de Cadix, comme la

¹² Taton (dir.) réunit en 1964 une collection de travaux qui démontrent cette extension et son intensité : *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann.

¹³ Les écoles royales de 1776 furent : Auxerre, Beaumont-en-Auge, Dole, Effiat, La Flèche, Vendôme, Pontlevoy, Pont-à-Mousson, Rebais, Sorèze, Tournon, Tiron.

¹⁴ L'*Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales* de Madrid créée en 1847 fut une autre chose...

précédente Académie des gardes de la Marine française, est une compagnie militaire avec des fonctions de formation ; l'Académie de Barcelone est un centre de formation en mathématiques avec des objectifs généraux, qui peut aider pour entrer au Corps du génie militaire.

Finalement, les études sur l'origine des enseignements techniques sont trop influencées par nos catégories actuelles. En général, on oublie que les mathématiques étaient au XVIII^e siècle une discipline qui allait plus loin que « nos » mathématiques. Pendant cette époque, le processus de spécialisation avait commencé, mais il était encore loin d'être structuré et organisé. De plus, des nouvelles disciplines apparurent, la physique expérimentale et la nouvelle chimie. Au début, elles étaient aussi très proches des mathématiques.

Bibliographie

- AGUSTÍ, Jaume (1983), *Ciència i tècnica a Catalunya en el segle XVIII o la introducció de la màquina de vapor*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans.
- ALFONSI, Liliane (2010), « Un successeur de Bouguer : Étienne Bézout (1730-1783), commissaire et expert pour la marine », *Revue d'histoire des sciences*, 63/1, p. 161-187.
- AUSEJO, Elena ; MEDRANO SÁNCHEZ, Francisco Javier (2010), « Construyendo la modernidad: Nuevos datos y enfoques sobre la introducción del Cálculo Infinitesimal en España (1717-1787) », *Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 71, 25-56.
- AUSEJO, Elena ; MEDRANO SANCHEZ, Francisco Javier (2015), « Jorge Juan y la consolidación del cálculo infinitesimal en España(1750-1814) », in Armando Alberola-Romá, Cayetano Mas Galvañ, Rosario Die Maculet (dir.) *Jorge Juan Santacília en la España de la Ilustración*, Alacant, Universitat d'Alacant/Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones, p. 155-178.
- BARCA SALOM, Francesc X. (1993), « La càtedra de matemàtiques de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (1766-1870). Més de cent anys de docència de les matemàtiques », in Navarro, V. ; Salavert, V. ; Corell, M. ; Moreno, E. ; Rosselló, E. (dir.) *II Trobades de la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, p. 91-105.
- BARCA SALOM, Francesc X. (1996), « L'Escola de Matemàtiques de la Junta de Comerç », *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. 1, p. 83-126.
- BARCA SALOM, Francesc X. ; BERNAT, Pasqual ; PONT I ESTRADERA, Maria ; PUIG-PLA, Carles (dir.) (2009), *Fàbrica, taller, laboratori. La Junta de Comerç de Barcelona: Ciència i tècnica per a la indústria i el comerç (1769-1851)*, Barcelona, Cambra de Comerç.
- BELHOSTE, Bruno (1993), « L'enseignement des mathématiques dans les collèges oratoriens au XVIII^e siècle », in Ehrard, J. (dir.) *Le collège de Riom et l'enseignement oratorien en France au XVIII^e siècle*, Paris, CNRS-éditions, et Oxford, Voltaire foundation, p. 141-160.
- BELHOSTE, Bruno (2011), *Paris savant : parcours et rencontres au temps des Lumières*, Paris, Armand Colin.
- BERENGUER CLARIA, Joaquim (2015), *Tomàs Cerdà (1757-1759). Tratado de Fluxiones*, Barcelona, Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.
- BLANCO, Mónica (2013), « The Mathematical Courses of Pedro Padilla and Étienne Bézout: Teaching Calculus in Eighteenth-Century Spain and France », *Science & Education*, 22, p. 769-788.

- CAPEL, Horacio ; SÁNCHEZ, Joan Eugeni ; MONCADA, Omar (1988), *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*, Barcelona, El Serbal/CSIC.
- [CAPMANY, Antoni de] (1778), *Discurso económico-político en defensa del trabajo mecánico de los menestrales y de la influencia de sus gremios en las costumbres populares, conservación de las artes y honor de los artesanos*, de "Ramón Miguel Palacio", Madrid, Antonio de Sancha.
- CAPMANY, Antoni de (1779), *Memorias históricas sobre la marina, comercio y artes de la antigua ciudad de Barcelona*, Madrid, Antonio de Sancha, 2 volumes.
- CARON, François (2010), *La dynamique de l'innovation. Changement technique et changement social (xvi^e-xx^e siècles)*, Paris, Gallimard.
- CERDÀ, Tomàs (1999), *Tratado de astronomía: curs dictat l'any 1760 a la Reial Càtedra de Matemàtiques del Col·legi de Sant Jaume de Cordelles, inspirat en la Philosophia Britannica de Benjamin Martin*, interpretació del manuscrit, introducció editorial i notes a cura de Lluís Gassiot i Matas ; amb un pròleg de l'acadèmic Manuel García Doncel, Barcelona, Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.
- COSTABEL, Pierre (1964), « L'Oratoire de France et ses collèges », in Taton, René (dir.), p. 67-100.
- CUESTA DUTARI, N. (1974), *El Maestro Juan Justo García*, Salamanca, Universidad de Salamanca.
- CUVILLIERS, Vincent (2012), « Les écoles aux xvii^e et xviii^e s. », in CRDP de Strasbourg et Vincent Cuvilliers, *L'école sous l'Ancien Régime*, Base Numérique du Patrimoine d'Alsace. http://www.crdp-strasbourg.fr/data/histoire/ecole_ancien-regime/XVII-XVIIIe.php?parent=14
- DAUMAS, Maurice ; TRESSE, René (1954), « La Description des Arts et Métiers de l'Académie des Sciences et le sort de ses planches gravées en taille douce », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 7, n° 2, p. 163-171.
- DE DAINVILLE, François (1954), « L'enseignement des mathématiques dans les Collèges Jésuites de France du xvi^e au xviii^e siècle », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 7, n° 1, p. 6-21.
- DE DAINVILLE, François (1964), « L'enseignement scientifique dans les collèges des jésuites », in Taton, René (dir.), p. 27-65.
- DHOMBRES, Jean (1980), « L'enseignement des mathématiques par la "méthode révolutionnaire". Les leçons de Laplace à l'École normale de l'an III », *Revue d'histoire des sciences*, tome 33, n° 4, p. 315-348.
- ESCOLANO BENITO, A. (1988), *Educación y economía en la España ilustrada*, Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia.
- ESTEBAN PINERO, Mariano (2002-2003), « Las academias técnicas en la España del siglo XVI », *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. V, p. 10-18.
- FONTANON, Claudine ; GRELON, André (dir.) (1994), *Les professeurs du Conservatoire national des arts et métiers. Dictionnaire biographique 1794-1955*, Paris, INRP, CNAM, 2 vols.
- GARMA PONS, Santiago (2002), « La enseñanza de las matemáticas », in Peset Reig, José Luis (dir.), *Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Corona de Castilla. Tomo IV. El siglo XVIII*, Valladolid, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, p. 311-346.
- GIL DE ZARATE, Antonio (1855), *De la Instrucción pública en España*, Madrid, Imprenta del Colegio de Sordo-Mudos, Calle Del Turco, 3 tomes.
- GILLE, Bertrand (1952), « L'Encyclopédie, dictionnaire technique », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 5, n° 1, p. 26-53.
- HAHN, Roger (1964a), « L'enseignement scientifique aux écoles militaires et d'artillerie », in Taton, René (dir.), p. 513-545.

- HAHN, Roger (1964b), « L'enseignement scientifique des gardes de la marine au XVIII^e siècle », in Taton, René (dir.), p. 547-558.
- IGLESIES FORT, José (1964), « La Real Academia de Ciencias Naturales y Artes en el Siglo XVIII », *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 3a época, 707, XXXVI, 1.
- KRANZBERG, Melvin (dir.) (1986), *Technological Education-Technological Style*, San Francisco Press.
- LAFUENTE, Antonio ; PESET, José Luis (1985), « Militarización de las actividades científicas en la España Ilustrada (1726-1754) », en Peset, José Luis (dir.), *La ciencia moderna y el Nuevo Mundo*, Madrid, CSIC/SLHCT, p. 127-147.
- LANGINS, Janis (1991), « La préhistoire de l'École polytechnique », *Revue d'histoire des sciences*, tome 44, n° 1, p. 61-89.
- LEGUAY, Olivier (2010), *L'enseignement des Mathématiques au XVIII^e siècle en France à travers l'étude de quelques préfaces de livres de cours*, <http://www.inclassablesmathematiques.fr/archive/2011/11/17/l-enseignement-des-mathematiques-au-xviiieme-siecle-en-franc.html>.
- LEMOINE, Robert (1964), « L'enseignement scientifique dans les collèges bénédictins », in Taton, René (dir.), p. 101-123.
- LONG, Pamela O. (2011), *Artisan/Practitioners and the Rise of the New Sciences, 1400-1600*, Oregon State University Press.
- LUSA, Guillermo ; ROCA ROSELL, Antoni (1999), « Doscientos años de técnica en Barcelona. La técnica científica académica », *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. 3, p. 101-130.
- MASSA-ESTEVE, M. Rosa ; ROCA-ROSELL, Antoni ; PUIG-PLA, Carles (2011), « Mixed' Mathematics in engineering education in Spain: Pedro Lucuce's course at the Barcelona Royal Military Academy of Mathematics in the eighteenth century », *Engineering Studies*, vol. 3, n° 3, December, p. 233-253.
- MISA, Thomas J. (2004), *Leonardo to the Internet: technology & culture from the renaissance to the present*, Baltimore ; London, Johns Hopkins University Press.
- NAVARRO BROTONS, Víctor (1985), *Tradició i canvi científic al País Valencià modern: 1660-1720: les ciències físico-matemàtiques*, València, Eliseu Climent.
- NAVARRO LOIDI, Juan (2006), *Las ciencias matemáticas y las enseñanzas militares durante el reinado de Carlos II*, Madrid, Centro de Publicaciones, Ministerio de Defensa.
- NAVARRO LOIDI, Juan (2013), « La incorporación del cálculo diferencial e integral al Colegio de Artillería de Segovia », *Llull*, vol. 36, n° 78, 2^e semestre, p. 333-358.
- NIETO GALAN, Agustí ; ROCA ROSELL, Antoni (dir.) (2000), *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts als segles XVIII i XIX. Història, ciència i societat*, RACAB, Barcelona, IEC.
- NIETO GALAN, Agustí ; ROCA ROSELL, Antoni (2006), « Scientific Education and the Crisis of the University in 18th Century Barcelona », in Feingold, M. ; Navarro-Brotons, V. (dir.), *Universities and Science in Early Modern Period*, Dordrecht, Springer, p. 273-288.
- NOGUES, Boris (2009), « La maîtrise ès arts en France aux XVII^e et XVIII^e siècles », *Histoire de l'éducation* [En ligne], 124 | 2009, mis en ligne le 01 janvier 2014, consulté le 27 Septembre 2018. <http://histoireeducation.revues.org/2069>
- PACEY, Arnold (1974), *The Maze of Ingenuity: Ideas and Idealism in the Development of Technology*, Allen Lane (London, England). Plusieurs rééditions et traductions. En espagnol, traduction de Homero Alsina Thevenet, Barcelona, Gustavo Gili, 1980, avec une adaptation à la réalité espagnole par le même auteur.
- PICON, Antoine (1992), *L'Invention de l'ingénieur moderne : l'École des ponts et chaussées 1747-1851*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées.

- PUIG-PLA, Carles (1999), « From the Academic Endorsement of the Mechanical Arts to the Introduction of the Teaching of Machinery in Catalonia », *ICON*, 5, p. 20-39.
- PUIG-PLA, Carles (2002-2003), « Las Memorias de Agricultura y Artes (1815-1821). Innovación y difusión de tecnología en la primera industrialización de Cataluña », *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. V, p. 20-44.
- PUIG-PLA, Carles (2009), « L'influence française dans les premiers périodiques scientifiques et techniques espagnols. Les *Memorias de agricultura y artes* (1815-1821) », in Bret, Patrice ; Chatzis, Konstantinos ; Pérez, Liliane (dir.), *La presse et les périodiques techniques en Europe 1750-1950*, Paris, L'Harmattan, p. 51-70.
- ROCA ROSELL, Antoni (2014), *Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (1764-2014) ; 250 anys d'història*, Barcelona, RACAB.
- ROCA ROSELL, Antoni (2016), *Un Curs Matemàtic a la Menorca de la Il·lustració, En la Commemoració de Pasqual Calbó i Caldés (1752-1817)*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans.
- ROCA ROSELL, Antoni (2017), « Una obra 'matemàtica' singular. Pasqual Calbó, un artista-científic », in Andreu Adame, Cristina ; Desel González, Carolina (dir.) *Pasqual Calbó i Caldés 1752-1817*, Maó, Museu de Menorca, p. 48-59.
- ROCA ROSELL, Antoni ; PUIG-PLA, Carles (2010), « The Beginnings of Mechanical Engineering in Spain: the Contribution of Francesc Santponç i Roca (Barcelona, 1756-1821) », *History of Technology*, vol. 30, p. 32-45.
- ROCHE, Daniel (1989), *Le siècle des Lumières en province : académies et académiciens provinciaux, 1680-1789*, Paris, Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 2 vol.
- RODRÍGUEZ CAMPOMANES, Pedro (1774), *Discurso sobre el Fomento de la Industria Popular*, Madrid, en la imprenta de D. Antonio de Sancha.
- RODRÍGUEZ CAMPOMANES, Pedro (1775), *Discurso sobre la Educación Popular de los Artesanos, y su fomento*, Madrid, en la imprenta de D. Antonio de Sancha, 5 vol.
- RUMEAU DE ARMAS, Antonio (1980), *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada. La Escuela de Caminos y Canales*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos-Ediciones Turner.
- SÁNCHEZ RON, José Manuel (dir.) (1988), *Ciencia y sociedad en España*, Madrid, el arquero/CSIC.
- SELLÉS, Manuel ; PESET, José Luis ; LAFUENTE, Antonio (dir.) (1987), *Carlos III y la ciencia de la Ilustración*, Madrid, Alianza Ed.
- SERBOS, Gaston (1964), « L'École royale des ponts et chaussées », in Taton, René (dir.), p. 345-363.
- SIMÓN DIAZ, José (1952), *Historia del Colegio Imperial de Madrid*, Madrid, Instituto de Estudios Madrileños, 2 vol.
- TATON, René (dir.) (1964), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann. Réimpression de 1986.
- TINOCO, J. (1951), « Apuntes para la historia del Observatorio de Madrid », *Anuario del Observatorio de Madrid*, p. 313-378.
- VICENTE MAROTO, Isabel (2002-2003), « Las escuelas de artillería en los siglos XVI y XVII », *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. V, p. 1-9.

Les données biographiques sont souvent extraites du *Diccionario Biográfico de la Real Academia de la Historia* et de Wikipedia.